# TRANSMISSÃO DE ENERGIA SEM FIO

**Daniel Gazzoli, Larissa Almeida, Lucas Hoffmann e Thais Nery**
*e-mail: larissaac2@gmail.com

## INTRODUÇÃO

As pesquisas realizadas a respeito da possibilidade de se transmitir energia elétrica sem o uso de fios condutores tiveram início através do físico e engenheiro Nikola Tesla por volta do ano de 1890. A técnica usada faz uso da ressonância de circuitos elétricos, onde Tesla efetuou a transmissão de energia elétrica através de ondas eletromagnéticas [01].

A primeira previsão teórica da existência dessas ondas foi feita, em 1864, pelo físico escocês, James Clerk Maxwell. Ele reuniu os conhecimentos existentes e descobriu as correlações que havia em alguns fenômenos, dando origem à teoria de que eletricidade, magnetismo e óptica são de fato manifestações diferentes do mesmo fenômeno físico. A primeira verificação experimental foi feita por Henrich Hertz, em 1887 quando ele produziu ondas eletromagnéticas por meio de circuitos oscilantes e, depois, os detectou por meio de outros circuitos sintonizados na mesma frequência [04].

Desse modo, ondas eletromagnéticas geradas por um circuito transmissor (fonte) são capazes de induzir tensão elétrica em um circuito receptor (carga). Este é o princípio da transmissão de energia por acoplamento magnético indutivo. Entretanto, as tecnologias para transmissão de energia elétrica sem fio se baseiam não apenas na indução, mas também na ressonância entre circuitos elétricos [01].

Quando um sistema fonte realiza excitações periódicas sobre um sistema receptor oscilante, acontece um fenômeno de superposição que altera a energia deste último. Se a frequência de ocorrência desses estímulos for igual á frequência de oscilação natural do sistema receptor, acontecerá a máxima transferência de energia para este sistema. Nesta condição, diz-se que os dois sistemas estão em ressonância [01].

Conforme figura 1, o funcionamento do experimento de transmissão de energia sem fio é bem simples, e necessita ter um aparelho que contenha bobinas emissoras de campo magnético e outro aparelho que tenha bobinas receptoras deste campo.

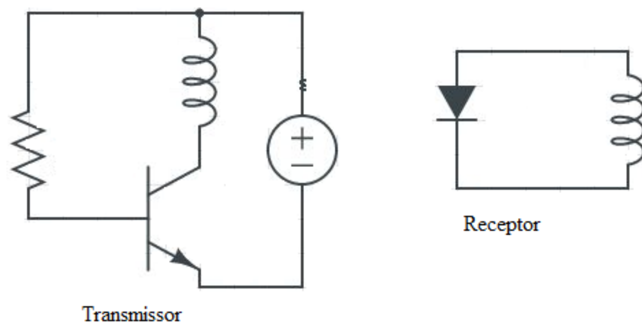



**Figura 1.** *circuito esquemático para transmissão de energia sem fio*

O aparelho emissor deve estar conectado a uma fonte de tensão alternada para poder gerar um campo magnético variante. O aparelho receptor, ao sofrer influência deste campo, começa a produzir corrente elétrica através do fenômeno da indução magnética. No circuito da figura 1, o transistor funciona como um amplificador para que a corrente sofra variações. Dessa forma, o fluxo também sofrerá variações e assim, surgirá uma força eletromotriz.

## Indução eletromagnética

Na década de 1830, Faraday descobriu em seus experimentos que um campo magnético pode criar uma corrente elétrica. Isso é possível através do surgimento de uma força eletromotriz (fem) induzida [03].

Dessa forma, a lei de Faraday-Lenz é escrita como:

$$\varepsilon = \frac{d\emptyset}{dt} \qquad (1)$$

Onde, $\varepsilon$ é a força eletromotriz, $\phi$ o fluxo magnético e t o tempo.

Alguns anos mais tarde, James Clerk Maxwell estudou o experimento de Faraday, e assim escreveu a sua lei na forma diferencial:

$$\nabla \times E = -\frac{dB}{dt} \qquad (2)$$

Onde, $\nabla$ é o operador nabla, E o campo elétrico e B o campo magnético. Isto é, o rotacional do campo elétrico é igual ao oposto da variação do campo magnético. Este princípio da indução eletromagnética é utilizado em transformadores elétricos, geradores, motores e máquinas de indução em geral, conforme a figura 1 [03].

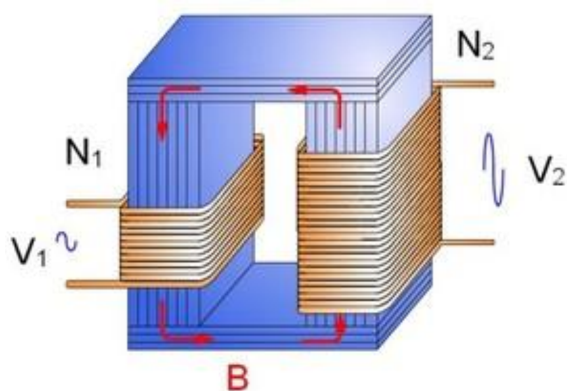



**Figura 2.** *Transformador elétrico. Onde N é o numero de espiras e V a voltagem*

No transformador, um fio é enrolado em uma região de um núcleo de material ferromagnético, dando um número de voltas N1 e criando uma voltagem alternada V1. Isso faz com que seja estabelecido, graças à passagem de corrente elétrica nessa bobina, um campo magnético no metal. Como a corrente é variável, o campo magnético também o será. Isso gera uma variação do fluxo magnético em outra bobina, feita com outro fio enrolado com N2 voltas em outra região. A variação do fluxo nesse enrolamento gera nela uma voltagem alternada [05].

**Indução mutua**

Em um circuito, a corrente gera um campo magnético que produz fluxo sobre o próprio circuito; desse modo a variação da corrente produz uma tensão no circuito. O fluxo magnético é proporcional a corrente; a indutância $\boldsymbol{L}$ é a constanste de proporcionalidade, que depende da geometria e das propriedades magnéticas do meio [06]. De acordo com essa definição:

$$\phi = Li \qquad (3)$$

A autoindutância é sempre positiva.

Através desse conceito, podemos reescrever a lei de indução de Faraday para um circuito fixo.

$$\varepsilon = -L\frac{di}{dt} \qquad (4)$$

Se houver um circuito próximo, a corrente também pode produzir um fluxo magnético sobre o primeiro, que é proporcional a corrente no segundo circuito. Dessa forma, um circuito

pode influenciar o outro quando a corrente em um deles estiver variando. Tal fenômeno é conhecido como indução mútua [06].

Os fluxos sobre os circuitos 1 e 2 podem ser escritos como:

$$\phi_1 = L_{11}\emptyset_1 + L_{12}\emptyset_2 \quad (5)$$

$$\phi_2 = L_{21}\emptyset_1 + L_{22}\emptyset_2 \quad (6)$$

Onde $L_{12}$ representa o fluxo do circuito 1 provocado pela corrente no circuito 2, e a auto indutância é representada por índices repetidos. Vale salientar que:

$$L_{12} = L_{21} \quad (7)$$

Um valor positivo para a indutância mútua significa que o aumento da corrente em um circuito provoca uma diminuição da corrente no outro. Depende, portanto da definição (arbitrária) do sentido positivo das correntes em cada circuito.

**Ressonância**

Por definição, a ressonância é a frequência natural em que um corpo ou sistema recebe ou transfere energia de forma mais eficiente. Essa frequência é uma característica intrínseca do material [04].

Existem vários tipos de ressonância: mecânica, elétrica, magnética, etc. A ressonância magnética é gerada se a frequência de certo campo magnético for igual à frequência de ressonância magnética do corpo
, então este corpo começará a vibrar.

**Lei de Biot Savart**

A partir de medidas de torque em uma agulha magnética, *Jean Baptiste Biot* e *Felix Savart* descobriram em 1820 que a intensidade de um campo magnético incremental ΔB devido a um pequeno elemento condutor com comprimento ΔL m, percorrido por uma corrente I A [07], pode ser expressa por:

$$\Delta B = \frac{1}{4\pi}\frac{\Delta L sen\theta}{R^2} \quad (8)$$

Onde R é o raio da bobina.

Para um campo gerado por um arco percorrido por uma corrente, obtemos a equação:

$$B = \frac{\mu_0 \, i}{2R} \tag{9}$$

Onde $\mu_0$ é a permeabilidade magnética no vacúo e $i$ a corrente.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar o funcionamento da transmissão de energia sem fio através da indução eletromagnética. Utilizaremos alguns conceitos do eletromagnetismo para a análise desta prática.

## MATERIAIS

- Fio de cobre
- Suporte em formato cilíndrico
- Transistor BC337
- Resistor de 1k Ohm
- Ferro de Solda
- Estanho
- Alicate
- Fita Isolante
- LED (verde)
- Bateria de 3V
- Fio com garras

## PARTE EXPERIMENTAL

O experimento consiste em uma bobina primária composta por um transistor, uma bateria e um resistor, e uma bobina secundária composta por um LED. Para confeccionar as bobinas, utilizou-se um suporte em formato cilíndrico para enrolar o fio de cobre. Começando pela bobina secundária, foram dadas 60 (sessenta) voltas ao redor do suporte,

deixando duas extremidades livres, sendo estas os terminais da bobina. Utiliza-se fita isolante para fixar a bobina.

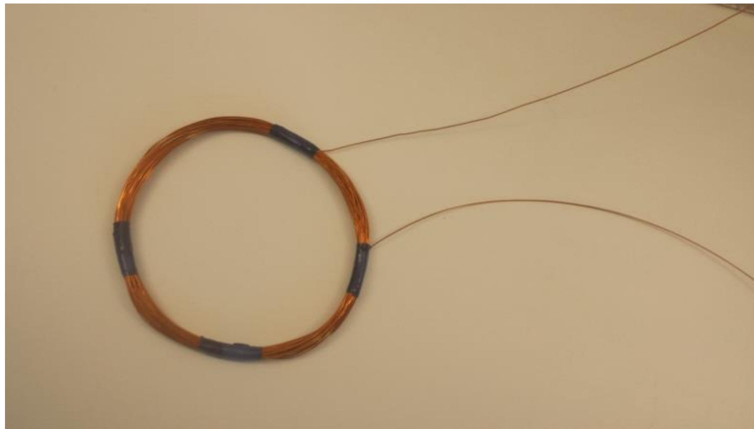


**Figura 1**. *Bobina secundária enrolada e fixada*

Para finalizar a primeira parte do experimento, utiliza-se o alicate para lixar os fios e retirar o esmalte do mesmo, facilitando o processo de solda do LED a bobina. Neste momento, não importa em quais terminais da bobina o LED é soldado e finaliza-se a bobina secundária.



**Figura 2.** *Bobina secundária pronta*

Para a confecção da bobina primária, enrolou-se o fio 30 (trinta) vezes ao redor do mesmo suporte cilíndrico e realiza-se uma dobra no fio, denominada derivação central. Feito o dobramento, continua-se a enrolar o fio de cobre no mesmo sentido, por mais 30 (trinta) vezes. Utiliza-se fita isolante para fixar a bobina.

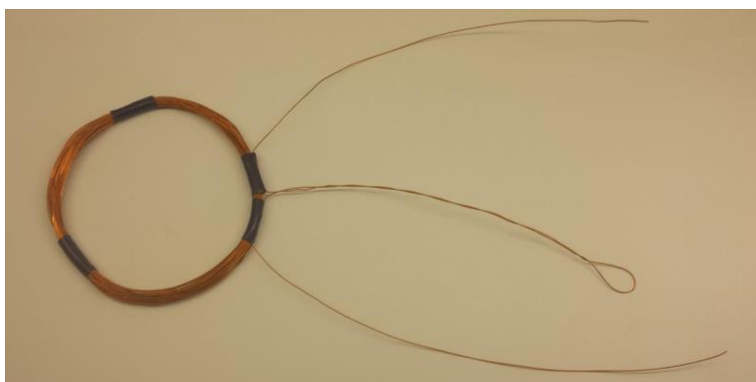


**Figura 3.** *Bobina primária enrolada e fixada*

Com o intuito de retirar o esmalte dos fios para facilitar o processo de solda, lixam-se os terminais da bobina utilizando um alicate. O transistor possui 3 (três) terminais: o direito, o esquerdo e o central, onde solda-se, respectivamente, no terminal direito da bobina, polo negativo da bateria e o resistor. O terminal esquerdo da bobina é soldado no outro polo do resistor. Finalizando o experimento, solda-se o polo positivo da bateria no terminal centra da bobina.

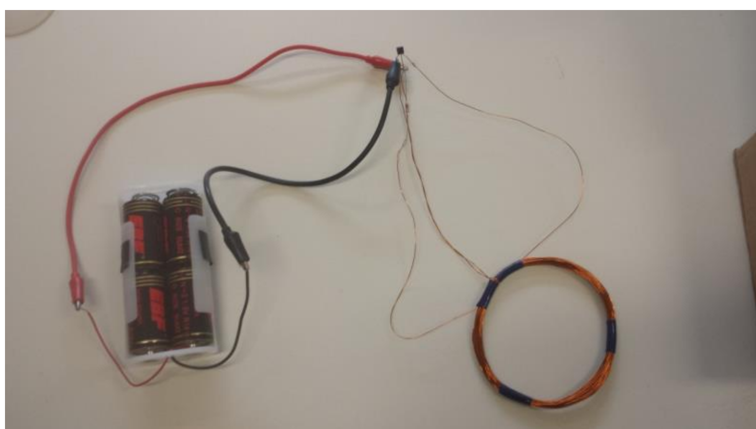


**Figura 4.** *Bobina primária pronta*

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se analisar a transmissão de energia elétrica sem fio nesse experimento, foram construídas duas bobinas. A bobina primária que foi ligada a uma fonte de 3V gerou uma corrente elétrica.

Ao aproximar a bobina secundária da primária, observou-se que o LED acendeu. Isso ocorre devido a tensão induzida pela bobina primária. Esse fenômeno é caracterizado como indução eletromagnética.

De acordo com a lei de Faraday, temos um fluxo magnético percorrendo a bobina e com isso é gerada uma força eletromotriz sobre ela. Aproximando a bobina secundária, a corrente produz um fluxo magnético sobre a primeira bobina, onde o fluxo é proporcional a corrente da segunda bobina.

Para determinarmos o campo gerado pela bobina com 60 espiras, utilizamos a equação:

$$B = N \frac{\mu_0 \, i}{2R} \qquad (10)$$

Onde $\mu_0$ = $4\pi \times 10^{-7}$, R = 0,045m (raio da bobina). A corrente é calculada através da equação:

$$i = \frac{V}{R} \qquad (11)$$

Onde V = 3V a tensão da fonte e R = 1kΩ a resistência utilizada no experimento. Através dos cálculos, obteve-se o resultado de

$$i = 3mA$$

Assim,

$$B = \frac{60 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 0{,}003}{2 \times 0{,}045}$$

$$B = 2{,}51\mu T$$

Para se obter o fluxo magnético que atravessa uma espira que tem uma área e um campo magnético B calculado, Utiliza-se a equação:

$$\emptyset_B = \int B \, dA \qquad (12)$$

Para uma espira circular, o campo magnético é perpendicular ao plano da mesma e para um campo uniforme, é obtida a equação:

$$\emptyset_B = BA \qquad (13)$$

A área no plano da espira é $\pi R^2$, Logo:

$$\emptyset_B = 2{,}51 \times 10^{-6} \times \pi \times (0{,}045)^2$$
$$\emptyset_B = 15{,}98 \times 10^{-9}\, Wb$$

Os fenômenos esperados no experimento foram observados e funcionaram de acordo com a teoria estudada.

## CONCLUSÃO

O experimento analisado neste trabalho exemplifica o funcionamento do carregador de celular sem fio, modelo samsung galaxy S6, porém não pode ser adaptado para outros modelos porque para o devido funcionamento é necessário um circuito regulador de tensão, conversor de AC para DC, além de precisar de melhorias na eficácia de transmissão de energia eletromagnética. Contudo, visando o experimento, pôde - se perceber que a transmissão de energia foi realizada com sucesso ao vermos o LED ascendendo com a aproximação da bobina e apagando com o afastamento da mesma.

## REFERÊNCIAS

Artigo:

[01] Bárbara R. Cenci, Adriano C. Marchesan, Carlos Henrique Barriquello, Felipe Loose. *TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA SEM FIO: UMA PROPOSTA PARA INTEGRAÇÃO ENTRE CONHECIMENTOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE ENSINO MÉDIO* – COBENGE (2013)

Livros:

[02] Halliday & Resnick – Fundamentals of Physics (9a edição, John Wiley & Sons) [2011]

Teses e dissertações:

[03] Ramon Eustáquio Nunes Félix, Roger França da Silva, Mário Marcos Brito Horta, Esdras de Oliveira Eler. *SISTEMA TRANSMISSOR DE ENERGIA ELÉTRICA SEM FIO* – Universidade de Belo Horizonte, Brasil, 2014.

Páginas de Internet:


[04] Arquivos UFS, URL: http://www.arquivos.ufs.br/mlalic/UAB_livro/Fisica_C_Aula_06.pdf [Junho 2016].

[05] Educação globo, URL: http://educacao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/inducao.html [Junho 2016]

[06] IFSC USP, URL: http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicaIII/11-LeideInducaodeFaraday.pdf [Junho 2016]

[07] Unesp, URL: http://www4.feb.unesp.br/dee/docentes/aquino/eletromag_I/eletromagI_teoria/cap09.pdf [Junho 2016]

[08] UFRGS, URL: http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod10/m_s01.html [Junho 2016]

[09] Ciclismobelem, URL: http://ciclismobelem.blogspot.com.br/2015/04/circuito-de-transmissao-de-eletricidade.html [Junho 2016]

[10] Tics taxi, URL: http://tics.taxi/nikola-tesla/ [Junho 2016]